

**ANALISIS BERKOMPUTER BAGI KESAN FANA
KE ATAS SISTEM PAIP
- MENGGUNAKAN KAEDAH CIRIAN**

AZMAHANI BT ABDUL AZIZ

**Dikemukakan kepada
FAKULTI KEJURUTERAAN AWAM
Universiti Teknologi Malaysia
sebagai memenuhi salah satu syarat
pengurniaan Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam
(Kejuruteraan Hidraulik)**

**Universiti Teknologi Malaysia
Mei 1993**

**COMPUTER ANALYSIS OF TRANSIENT EFFECT
ON PIPE SYSTEM
- USING METHOD OF CHARACTERISTICS**

AZMAHANI BT ABDUL AZIZ

**Submitted to
The FACULTY of CIVIL ENGINEERING
Universiti Teknologi Malaysia
in partial fulfilment of the requirement for
the degree of Master of Civil Engineering
(Hydraulic Engineering)**

Universiti Teknologi Malaysia

May 1993

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Mengasihani. Alhamdulillah, saya bersyukur ke hadrat Allah S.W.T di atas rahmat dan izinNYA maka projek ini telah dapat disiapkan.

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih ditujukan kepada penyelia, Profesor Madya Dr. Che Nyan bin Husain di atas segala bimbingan dan nasihat dalam usaha menjayakan projek ini.

Penghargaan juga diberikan kepada Pn. Fatimah bt. Mohd. Noor, yang telah sanggup bersama-sama menghadapi setiap masalah sehingga projek ini selesai. Tidak ketinggalan, kepada Pusat Komputer dan Fakulti Kejuruteraan Awam di atas segala kemudahan yang telah disediakan. Dan rakan-rakan serta keluarga yang telah memberi sokongan serta nasihat yang tidak terhingga.

Semoga Allah S.W.T memberkati usaha ini dan membalas segala jasa baik mereka. Insya'Allah.

Khas buat yang dikasihi;

*Ayahanda dan bonda sekeluarga,
suamiku serta anak-anak tersayang,
Siti Nadiyah & Muhammad Syahir*

ABSTRAK

Fenomena fana atau keadaan tak mantap di dalam sesuatu sistem aliran boleh berlaku disebabkan penutupan atau pembukaan injap, pemberhentian pam dan sebagainya. Ini merupakan satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan semasa peringkat reka bentuk. Dewasa ini, penggunaan komputer digit dieksploit secara meluas untuk memberikan keputusan yang lebih tepat di samping menjimatkan masa.

Di dalam disertasi ini, Kaedah Cirian telah digunakan untuk menganalisis fenomena fana ini. Kaedah ini dapat menggambarkan keadaan fizikal bendalir yang sebenar dengan mengambil kira semua keadaan sempadan yang terdapat di dalam sistem tersebut.

Satu program komputer telah dihasilkan yang dapat meramal sebarang kejadian fana di dalam sistem perpaipan. Beberapa kes tertentu telah dikenal pasti untuk dianalisis iaitu talian paip tunggal, paip siri dan rangkaian paip mudah. Kesemua penyelidikan dihad kepada kejadian fana yang terhasil daripada penutupan injap di bahagian hilir dengan mempertimbangkan dua parameter aliran, iaitu, kadar alir Q dan turus piezometrik H . Di samping itu, dua jenis penutupan telah diselidiki, iaitu, penutupan cepat dan perlahan.

Secara am, hasil kajian menunjukkan bahawa kejadian fana hanya mempunyai kesan yang ketara di sekitar punca (injap). Semakin jauh ke hulu, kesan ini akan berkurangan dan seterusnya terlesap. Penutupan cepat menghasilkan masa tekanan puncak pada atau sebelum $2L/a$, manakala untuk penutupan perlahan satu ayunan tekanan terhasil yang teredam di akhir sela masa.

ABSTRACT

Transient or unsteady phenomenon in a flow system may occur as a result of closing or opening of valves, stoppage of pumps, etc. This phenomenon has to be taken into consideration during design stage. At present, the use of digital computer is so widely used for two basic reasons, achieving more accuracy and saving time.

In this dissertation, the transient effects are analysed using the Method of Characteristics. Besides being able to visualise the actual physical conditions of the flow, the method also caters for all boundary conditions existing in the system.

A computer program that is capable of predicting any transient phenomenon in the piping system is produced. A few case studies are identified for analysis, ie, single pipe, series pipe and simple pipe network. The scope of the investigation is limited to transients as a result of valve closure at the downstream end. Two flow parameters, ie, discharge, Q and piezometric head, H are considered. In addition, two types of closure are investigated, namely, rapid and slow closure.

In general, results indicate that the transient phenomenon has performed effect around the source (valve). As the distance of propagation increases upstream, this effect

slowly deminishes and is finally dissipated. Rapid closure achieves peak pressure time at or before $2L/a$, whereas for slow closure, some resonance pressure arises that result in a damping at the end of the time interval.

KANDUNGAN

<u>ISI KANDUNGAN</u>	<u>MUKA SURAT</u>
PENGHARGAAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRAC	v
KANDUNGAN	vii
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SIMBOL	xiv
SENARAI JADUAL	xvi

BAB 1 PENGENALAN

1.1 Pendahuluan	1
1.2 Tujuan Kajian	2
1.3 Bidang Kajian	3

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan	4
2.2 Takrif Aliran Fana	4
2.3 Sejarah Perkembangan Fana	5
2.4 Analisis Aliran Fana	8
2.4.1 Teori Jalur Bendalir Tegar	8
2.4.2 Teori Jalur Bendalir Anjal	9

ISI KANDUNGAN	MUKA SURAT
----------------------	-------------------

2.5	Kaedah Penyelesaian Aliran Fana	9
2.5.1	Kaedah Aritmatik	10
2.5.2	Kaedah Grafik	10
2.5.3	Kaedah Cirian	11
2.6	Injap	15
2.6.1	Penutupan Injap	15
2.7	Kesimpulan	19

BAB 3 PERKEMBANGAN TEORI ALIRAN FANA

3.1	Pengenalan	20
3.2	Fenomena Kejadian Aliran Fana	20
3.3	Sebab-sebab Berlaku Aliran Fana	26
3.4	Kaedah-kaedah Pengawalan Fana	30
3.5	Terbitan Persamaan Aliran Fana	31
3.5.1	Persamaan Gerakan	31
3.5.2	Persamaan Keselanjangan	34
3.6	Penyelesaian Persamaan Aliran Fana	39
3.7	Kesimpulan	39

BAB 4 KAEDAH CIRIAN

4.1	Pengenalan	40
4.2	Persamaan Cirian	40
4.3	Penyelesaian Persamaan Kebazaaan Terhingga	47

ISI KANDUNGAN	MUKA SURAT
4.4 Keadaan Sempadan	50
1. Takungan Pada Bahagian Hulu	51
2. Takungan Pada Bahagian Hilir	53
3. Hujung Mati Pada Bahagian Hilir	55
4. Injap Pada Bahagian Hilir	55
5. Paip Bersiri	57
6. Simbang bercabang	60
4.5 Pengiraan Jeda Masa bagi Sistem Rangkaian Kompleks	62
4.6 Kesimpulan	66
 BAB 5 PROGRAM KOMPUTER	
5.1 Pengenalan	67
5.2 Unsur dan Nod	68
5.3 Kemasukan data	70
5.4 Perjalanan Program	77
 BAB 6 ANALISIS DATA	
6.1 Pengenalan	80
6.2 Analisis Paip Tunggal dengan Penutupan Cepat	81
6.3 Analisis Paip Tunggal dengan Penutupan Perlahan	84
6.4 Analisis Paip Siri dengan Penutupan Cepat	86

ISI KANDUNGAN	MUKA SURAT
6.5 Analisis Paip Siri dengan Penutupan Perlahan	90
6.6 Analisis Rangkaian Paip Mudah dengan Penutupan Cepat	92
6.7 Analisis Rangkaian Paip Mudah dengan Penutupan Perlahan	95
6.8 Perbandingan Kajian Kes	97
6.9 Kesimpulan	99
 BAB 7 KESIMPULAN DAN CADANGAN	
7.1 Kesimpulan	100
7.2 Cadangan Untuk Kajian Lanjut	102
 BIBLIOGRAFI	103
APENDIKS 1	108
APENDIKS 2	110
APENDIKS 3	119

SENARAI RAJAH

- Rajah 2.1 Penentudalaman Garis-masa
 a)Jangkauan Belakang
 b)Tersirat
- Rajah 2.2 Lengkung penutupan seragam,peratus-sama dan optimum
- Rajah 2.3 Penambahan tekanan dan pergerakan injap
- Rajah 2.4 Perbandingan keputusan ujikaji dan teori
- Rajah 3.1 Sistem Paip Tunggal
- Rajah 3.2 Perambatan gelombang tekanan disebabkan oleh penutupan semerta injap.
 (a,b,c,d)
- Rajah 3.3 Perubahan tekanan pada injap;
 Kehilangan geseran diabaikan
- Rajah 3.4 Perubahan tekanan pada injap;
 Mengambil kira kehilangan geseran
- Rajah 3.5 Gambarajah jasad bebas pada keratan bendalir
- Rajah 3.6 Suatu keratan rentas isipadu kawalan
- Rajah 4.1 Grid cirian
- Rajah 4.2 (a) Sistem Paip Tunggal
- Rajah 4.2 (b) Kawasan pertimbangan bagi paip tunggal
- Rajah 4.3 Aruhan gelombang apabila injap ditutup semerta
- Rajah 4.4 Kesan daripada keadaan sempadan di kedua-dua hujung paip

Rajah 4.5	Grid x-t bagi menyelesaikan masalah paip mudah
Rajah 4.6	(a) Aras tetap di takungan hulu apabila aliran mengalir ke hilir
Rajah 4.6	(b) Aras tetap di takungan apabila aliran terbalik
Rajah 4.7	(a) Aras tetap apabila aliran menuju ke takungan
Rajah 4.7	(b) Aras tetap di takungan apabila aliran terbalik
Rajah 4.8	Injap pada bahagian hilir
Rajah 4.9	Sambungan siri
Rajah 4.10	Simpang bercabang
Rajah 4.11	Satah x-t bagi Sistem Dua-paip
Rajah 4.12	Satah x-t dengan Δt yang sama dan penentudalaman yang besar
Rajah 4.13	Satah x-t dengan Δt yang sama dan N yang berbeza
Rajah 5.1	Gambarajah Skema Menunjukkan Unsur dan Nod
Rajah 5.2	Contoh Gambaran Sistem
Rajah 5.3	(a) Cartalir Program Hardy Cross (b) Sambungan Cartalir Program Hardy Cross
Rajah 5.4	Arah aliran di dalam sistem
Rajah 5.5	Cartalir Program NET
Rajah 6.1	Sistem Paip Tunggal dan gambaran unsur dan nod
Rajah 6.2	Lengkung turus tekanan terhadap masa (Sistem Paip Tunggal - Penutupan cepat)

- Rajah 6.3 Turus tekanan bagi tempoh $4L/a$
- Rajah 6.4 Lengkung turus tekanan terhadap masa
(Sistem Paip Tunggal - Penutupan perlahan)
- Rajah 6.5 Sistem Paip Siri
- Rajah 6.6 Lengkung turus tekanan terhadap masa
(Sistem Paip Siri - Penutupan cepat)
- Rajah 6.7 Pemecahan Gelombang Akibat paip siri
- Rajah 6.8 Lengkung turus tekanan terhadap masa
(Sistem Paip Siri - Penutupan perlahan)
- Rajah 6.9 Sistem Rangkaian Paip Mudah dan
gambaran unsur dan nod
- Rajah 6.10 Lengkung turus tekanan terhadap masa
(Sistem Rangkaian Paip Mudah - Penutupan
cepat)
- Rajah 6.11 Lengkung turus tekanan terhadap masa
(Sistem Rangkaian Paip Mudah - Penutupan
perlahan)

SENARAI SIMBOL

a	Halaju gelombang fana
a_j	Halaju gelombang paip j
A	Luas keratan paip
A_v	Luas bukaan injap
C^+	Cirian positif
C^-	Cirian negatif
C_d	Pekali kadaralir
D	Garis pusat paip
f	Faktor geseran
g	Daya graviti
h_e	Turus kehilangan kecil bahagian masuk
H	Turus piezometrik
H_0	Turus statik awal
H_{res}	Turus takungan
K	Modulus keanjalan
k	Pekali kehilangan bahagian masuk dan keluar ke takungan
L	Panjang paip
N	Bilangan keratan paip
N_j	Bilangan keratan pada paip j
P	Tekanan
P_1, P_2	Tekanan pada titik 1 dan 2
Q	Kadaralir bendalir

SENARAI SIMBOL

a	Halaju gelombang fana
a_j	Halaju gelombang paip j
A	Luas keratan paip
A_v	Luas bukaan injap
C^+	Cirian positif
C^-	Cirian negatif
C_d	Pekali kadaralir
D	Garis pusat paip
f	Faktor geseran
g	Daya graviti
h_e	Turus kehilangan kecil bahagian masuk
H	Turus piezometrik
H_0	Turus statik awal
H_{res}	Turus takungan
K	Modulus keanjalan
k	Pekali kehilangan bahagian masuk dan keluar ke takungan
L	Panjang paip
N	Bilangan keratan paip
N_j	Bilangan keratan pada paip j
P	Tekanan
P_1, P_2	Tekanan pada titik 1 dan 2
Q	Kadaralir bendalir

Q_0	Kadaralir awal
Q_P	Kadaralir pada titik P
t	Masa perambatan gelombang
t_c	Masa penutupan injap
t_0	Masa awal
Δt	Jeda masa
V_0	Halaju awal bendalir
V	Halaju bendalir
V_j	Halaju paip j
Δx	Jarak disepanjang paip
z	Jarak dari datum
τ	Tegasan ricih pada dinding paip
θ	Sudut kecondongan paip
ρ	Ketumpatan bendalir
γ	Berat tentu bendalir
λ	Pemalar
\bigcirc	Nombor nod
$[]$	Nombor unsur

SENARAI JADUAL

- Jadual 6.1 Ciri-ciri paip bagi sistem paip tunggal
- Jadual 6.2 Data ciri-ciri paip bagi sistem paip siri
- Jadual 6.3 Data ciri-ciri paip bagi sistem rangkaian
paip mudah

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Sistem rangkaian paip telah lama wujud sejak beratus-ratus tahun dahulu, akan tetapi kejadian fana tidak diberi perhatian yang mendalam semasa membuat pengiraan reka bentuk. Ini kerana kesan fana dianggapkan terlalu kecil bagi sistem rangkaian paip kompleks berbanding dengan sistem paip mudah.

Kini, sistem agihan bekalan air melalui rangkaian kompleks merupakan satu perancangan penting negara. Sistem ini melibatkan struktur-struktur sampingan seperti stesyen pengepam kadaralir ke sistem, penutup pam automatik, pelarasan injap kawalan dan lain-lain lagi. Struktur-struktur ini keseluruhannya menyebabkan berlakunya keadaan fana. Seterusnya kegagalan ke atas struktur mungkin akan berlaku apabila tidak dapat menanggung tekanan yang tinggi.

Walau bagaimanapun, kebanyakan sistem rangkaian paip kompleks telah pun dilengkapi dengan struktur kawalan fana. Tetapi sejauh mana kemampuan struktur tersebut dapat mengurangkan kehadiran fana ini? Oleh itu, jurutera

hidraulik perlulah peka terhadap masalah ini dan pengumpulan data adalah penting untuk kajian selanjutnya. Data-data akibat kesan fana ini juga dapat digunakan untuk mengesan kegagalan yang berlaku ke atas sistem.

Parmakian (1955), Streeter (1967), Wood (1970), Chaudhry (1979) dan beberapa pengkaji lain telah menyoediki dan menerbitkan beberapa kaedah penyelesaian masalah hidraulik fana. Kaedah Cirian didapati merupakan kaedah yang paling digemari kerana terdapat beberapa kelebihan berbanding dengan kaedah lain seperti Grafik dan Aritmatik. Dewasa ini, penggunaan komputer digit dalam menangani masalah penyelesaian berangka begitu meluas digunakan. Kaedah Cirian merupakan satu kaedah yang memerlukan penyelesaian melalui komputer kerana ia melibatkan pengiraan yang banyak, di samping dapat memberikan keputusan yang lebih tepat.

1.2 Tujuan Kajian

Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan satu analisis berkomputer bagi meramal sebarang kejadian fana akibat daripada penutupan injap di bahagian hilir sistem perpaipan. Satu program komputer akan disediakan menggunakan kerangka utama dan Fortran sebagai bahasa pengaturcaraannya.

1.3 Bidang Kajian

Analisis ini adalah berdasarkan kepada Kaedah Cirian. Tiga kes telah dikenal pasti untuk dianalisis iaitu sistem paip tunggal, paip siri dan rangkaian paip mudah. Dua parameter aliran yang akan dipertimbangkan iaitu, kadar alir Q dan turus piezometrik H . Bagi setiap kes, dua jenis penutupan akan diselidiki iaitu penutupan cepat dan penutupan perlahan.

Di dalam kajian ini, ciri-ciri dan kelakuan paip tidak diambil kira. Ini kerana kajian lebih menumpu kepada pengaruh kejadian fana yang berlaku di dalam sistem paip mudah kepada sistem yang lebih kompleks. Walau bagaimanapun, program yang disediakan ini dapat digunakan untuk apa jua kes kerana data bagi ciri-ciri paip dan injap adalah merupakan data masukan.

Kejadian fana berlaku disebabkan oleh gangguan ke atas aliran dan injap merupakan satu daripada faktor tersebut. Oleh itu, kajian ini merupakan satu pendekatan awal dalam kejadian fana sebelum menjurus kepada kes yang lebih kompleks.

BIBLIOGRAFI

AZOURY, P.H. , BAASIRI, M. dan NAJM, H. , " Effect of Valve-Closure Scedule on Water Hammer", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 10, October 1986, pp. 890 -903.

BRYAN W. KARNEY dan DUNCAN McINNIS, "Efficient Calculation of Transient Flow in Simple Pipe Networks", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, No. 7, July 1992, pp. 1014 - 1030.

CHRISTIAN, C.D., "A Method for Modelling Hydraulic Transients in Pipelines", Software for Engineering Workstations, Vol. 5, January 1989, pp 2-15.

CHAUDHRY, M. H., "Applied Hydraulic Transients", Van Nostrand Reinhold, New York, 1979.

WATT, C.S., HOBBS, J.M. dan BOLDY, A.M, "Hydraulic Transients Following Valve Closure", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 106, No. HY10, October, 1980, pp 1627-1640.

DAVID, E.G. dan WYLIE, E.B., "Characteristics Method Using Time-Line Interpolations", Journal of Hydraulis Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 5, May, 1983 , pp 670-683.

EUGEN RUUS dan FAROUK A. EL-FITIANY, "Charts for Water Hammer in Pipelines Resulting from Valve Closure", Journal of Civil Engineering, Vol. 7, 1980, pp. 243 - 255.

FOX, J.A., "Hydraulic Analysis of Unsteady Flow in Pipe Networks", John Wileys & Sons, Inc., New York, 1977.

FOX, J.A., "Transient Flow in Pipes, Open Channel and Sewers", John Wileys & Sons, Inc., New York, 1990

GRAY, C.A.M., "'The Analysis of The Dissipation of Energy in Waterhammer", Proceeding, Amer. Soc. Civ. Engrs., Proc. paper 274, Vol. 119, 1953, pp 1176-1194.

JAEGER, C., "Fluid Transients in Hydroelectric Engineering Practice", Blackie & Sons, Ltd., Glasgow and London, 1977.

JOSEPH R. KROON, "Water Hammer: Causes and Effects", Journal AWWA, Management and Operation, November 1984, pp. 39 - 45.

KAWIAK, J.R., "Surge and Waterhammer", The Civil Engineer in South Afrika, November 1989, pp. 381 - 382.

KOTARO ONIZUKA, "System Dynamics Approach to Pipe Network Analysis", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 8, August 1986, pp 728-749.

MASASHI SHIMADA dan SYUUI OKUSHIMA, "New Numerical Model and Technique For Waterhammer", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, No. 6, June 1984, pp. 736 - 748.

MASASHI SHIMADA, "Graph-Theoretical Model For Slow Transient Analysis Of Pipe Networks", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 115, No. 9, September 1989, pp 1165-1183.

NAHAVANDI, A.N. dan CATANZARO, G.V., "Matrix Method for Analysis of Hydraulic Networks", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 99, No. HY1, Jan. 1973, pp 47-63.

PARMAKIAN, J., "Water-Hammer Analysis", Dover Publications, Inc., New York, 1963.

PICKFORD, J., "Analysis of Water Surge", Gordon and Breach Science Publishers, London, 1969.

REDDY J.N., "An Introduction To The Finite Element Method", McGraw Hill Book Co., New York, 1984.

RICH, G., "Hydraulic Transients", McGraw Hill Book Co., New York, 1951.

ROUSE, H. dan INCE, S. , "History of Hydraulics", Dover Publications, New York, 1963.

STREETER, V.L. dan WYLIE, E.B., "Hydraulic Transients", McGraw -Hill Book Co., New York, 1967.

STREETER, V.L. dan LAI, C., "Waterhammer Analysis Including Fluid Friction", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 88, No. HY3, May, 1962, pp 79-112.

STREETER, V.L. dan WYLIE, E.B., "Fluid Mechanics", 7th ed., Mc Graw Hill Book Co., New York, 1978.

SHARP, B.B., "Water Hammer, Problems and Solution", Edward Arnold Publishers, Ltd., London, 1981.

TRIKHA, A.K., "Variable Time Steps for Simulating Transient Liquid Flow by Method of Characteristics", Journal of Fluid Engineering, ASME, Mar. 1977, pp 259-261.

TULLIS, J. P., "Hydraulics of Pipelines, Pumps, Valves, Cavitation, Transients", John Wiley & Sons, New York, 1989.

WATTERS, Gary Z, "Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipelines", Ann Arbor Science Book, Boston, 1984.

WOOD, F.M., "History of Waterhammer", Report No. 65, Department of civil Engineering, Queen's University at Kingston, Ontario, Canada, April 1970.

WYLIE E.B., "The Microcomputer and Pipeline Transients", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, No. 12, December 1983, pp. 1723 - 1739.